

文章编号:1004-4213(2011)06-0878-5

聚光型粗细调互补阳光信号采集器的研制

宁铎, 吴涛, 黄建兵, 金岩, 张永佳, 张剑莉

(陕西科技大学 阳光电子研究所, 西安 710021)

摘 要:高准确度自动跟踪系统是太阳能聚光器必不可少的组成部分,而信号采集器能否精确可靠地采集到阳光照射方向的信号又是自动跟踪准确度的关键.本文提出了一种粗细调互补信号采集器的设计方案,在正常工作期间通过软件能够根据需要不断地自动调整选择二组光电传感器中其中一组输出的差模信号作为有效信号,从而有效地解决了大范围寻找太阳和高准确度跟踪之间的矛盾;而在此基础上改进为对聚光后的阳光信号进行采集的新结构,又彻底解决了光电传感器本身在光照强度很大时进入饱和区与光照强度很弱时输出的差模信号太小的问题,有效延长了聚光器在早晚时段的正常工作时间.据此原理制作的聚光型粗细调互补信号采集器应用于某公司的 CPV 型 1200W 砷化镓发电系统中,取得了很好的跟踪效果,其实际跟踪误差 $\leq 0.1^\circ$ (立体角).

关键词:太阳能聚光;跟踪准确度;信号采集器;差模信号;粗细调互补

中图分类号:TK513

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20114006.0878

0 引言

由于太阳能经过聚光后在光伏发电、光热发电以及日常生活中的广泛用途和本身具有的绿色能源的特点,世界各国都在此领域投入了大量的人力物力进行研究,但是太阳能聚光器的共同特征就是一般都必然配置有二维的太阳光高准确度自动跟踪系统,而准确无误地、实时地、全天候地获得高准确度太阳光方向信息的信号采集器是该系统必不可少的重要组成部分^[1-3].通常国际上有计算机设定、天文时间以及太阳光信号采集几种主要方式,而对于高准确度自动跟踪系统,仍然以直接采集太阳光信号为最佳选择.因为在太阳聚光跟踪系统中,要求二维方向高准确度的自动跟踪,且通常要求其跟踪误差角 $\theta \leq 0.3^\circ$ (立体角),否则不但太阳光不能汇聚在要求的区域里,而且还会因为在聚光区域内的不均匀分布造成受光体受热不均匀而发生爆裂导致损坏的严重后果^[4-5].所以研制一个高准确度、高性价比的自动跟踪系统将会对太阳能聚光器的推广应用产生重大的影响.

本文在多年来结合反射式和透射式太阳能聚光器研制课题中配套的自动跟踪系统进行的深入探讨基础上^[6-12],通过试验淘汰了“十”字形法和点阵法

等采集太阳光信号的方法之后,经过不断总结改进,终于探索到了一种高准确度低成本实现太阳光信号有效采集的方法及相应装置,这就是聚光型粗细调互补性太阳光信号采集器.

1 粗细调互补性太阳光信号采集器

其具体的思路:通过二组光电传感器的位置对称分布及空间结构组合,并把相应的差模信号作为其有效信号的新方法,对采集的太阳光信号分别处理后实现对太阳光方向自动跟踪过程中粗调和细调功能,从而既保证根据粗调信号实现在大范围寻找太阳目标的实际需要,而且又能够满足细调信号实现对太阳光方向的准确采集.

1.1 结构

粗细调互补性信号采集器由二组性能参量完全一致的光电传感器以及相应的校准筒和基准板等组成,结构示意图如图 1.其中被校正筒 10 隔离成内外二组共八个性能相同的光电传感器(1-8)在基准板上的分布如俯视图中所示,并且均以上下左右对称结构固定于基准板 12 上,而且安装要求其必须平行于聚光器接收太阳光平面;其中外组的 1-4 四个光电传感器用来大范围寻找太阳光方向-构成粗调信号采集部分;而内组的 5-8 四个光电传感器用来

基金项目:陕西省自然科学基金项目(No.2006E126)和教育厅产业化项目(No.05JC05)资助

第一作者:宁铎(1955-),男,教授,主要研究方向为光电技术与自动控制. Email:ningd@sust.edu.cn

收稿日期:2010-09-17; **修回日期:**2011-03-15

在小范围提供太阳偏离的准确信号-构成细调信号的采集部分. 另外实现“细调”功能的内组四个光电传感器 5-8 分别安装在内校正筒 11 内, 并且处于同一圆周上的 4 个内校正筒 11 则以相同的 α 角度向外倾斜而固定. 校正筒 10 和内校正筒 11 的内外表面全部为具有强吸收太阳光功能的黑颜色, 以尽量减少侧面反射光对光电传感器的影响, 使得其仅直接接受垂直射入的太阳光. 另外还有专门固定在校正筒 10 顶部并与内组 5-8 四个光电传感器内切的圆环形盖板 9.

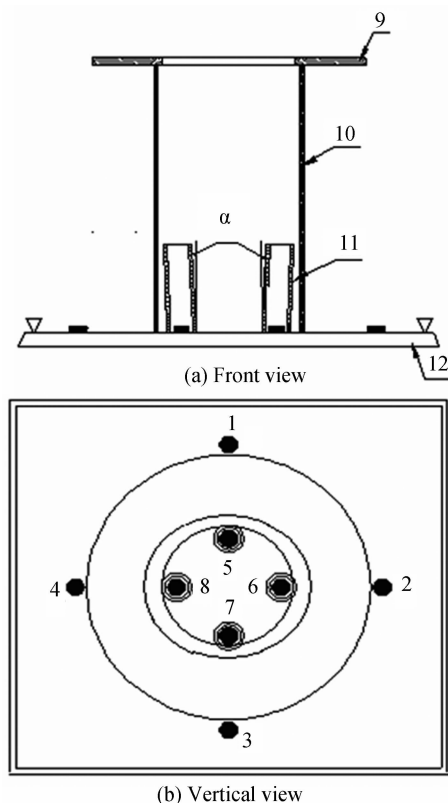


图 1 粗调细调互补性信号采集器

Fig. 1 Signal acquisition device of concentrating solar rough and fine adjustment complementary

1.2 工作原理

当太阳光垂直照射到基准板 12 时, 由于所有 8 个光电传感器的光照强度和受光面积相同, 所以四个对称结构中每一对中的二个输出电信号一定相同, 这时单片机经过数据处理判断, 结论是聚光器接收面正对着太阳光, 处于理想状态. 一旦由于太阳运动而变换位置时, 单片机根据每组对称结构中差模信号数据大小和正负做出位置判断, 并发出自动跟踪的指令. 因为单片机是根据所检测的对称二个光电传感器的信号差值而发出自动跟踪指令的, 所以内校正筒 11 这种向相反方向倾斜 α 角度的结构设计, 使得两组光电传感器 5 和 7、6 和 8 恰好使得一个信号增强的同时另一个必然减小的幅度得到放大, 即实现了差模信号(有效信号)的倍增效应.

在实际应用中因为天气的变化无常, 依靠校正筒 10 内组的四个光电传感器大范围寻找太阳位置是根本无法实现的. 例如当太阳被云遮挡一小时内太阳光的偏离程度(15°)早已经超出了它的检测范围(即细调信号的采集角度). 但对于外组的 1-4 四个光电传感器来说, 校正筒 10 因为具有的高度形成的阴影只能影响其中二个光电传感器的的输出信号, 而另外二个光电传感器仍然受到太阳光的正常照射, 从而依然能够输出差模信号而驱动自动跟踪系统正常工作, 直到基本对准太阳光后, 再由软件按照设定条件做出判断, 转而由校正筒 10 内的 5-8 四个光电传感器组成的细调信号采集组准确实现太阳光信号采集高准确度准确跟踪(实际跟踪误差 $< 0.1^\circ$ 立体角范围内).

2 聚光型粗细调互补太阳光信号采集器

基于以上原理设计的互补太阳光信号采集器, 在实际应用中发现还存在以下问题而导致不能够一年四季全天候的正常工作:

1) 当太阳光照射强度很大时(如夏天的中午时分), 导致光电传感器的光电特性进入饱和区而检测灵敏度降低.

2) 当太阳光照射强度很弱时(如冬天的早晚时分), 导致光电传感器的光电特性因为差别太小而检测灵敏度降低.

针对实际使用中存在的上述问题, 通过大量的方案论证和反复试验, 在原来粗细调互补性信号采集器的基础上提出了二条改进措施: 通过对太阳光汇聚后再检测的方法解决照射强度很弱时检测灵敏度低的问题; 又通过减少光电传感器受光面积的方法解决照射强度很大时导致光电传感器的光电特性进入饱和区而检测灵敏度降低的问题^[13]. 从而使得太阳光采集器在太阳光“很强”的中午和“很弱”的早晚时分二种极端情况下仍然能够可靠地提供准确的差模信号给后续处理电路, 保证早晚太阳出、落时光线太弱和中午太阳光最强时段二种特殊情况下正常信号采集功能, 有效延长了自动跟踪时间, 使“细调”功能得到进一步的完善和提高. 在此基础上结合外围四个光电传感器组成的大范围寻找太阳光的“粗调”功能, 从而保证一年四季全天候给自动跟踪系统高质量的太阳光跟踪信号, 使得低成本高精度的太阳能自动跟踪系统得以实现, 这就是聚光型粗细调互补太阳光信号采集器(见图 2).



图2 立体结构的太阳光信号采集器结构示意图
Fig. 2 The profile of solar signal acquisition device of three-dimensional structure

2.1 结构

聚光型粗细调互补太阳光信号采集器仍然由二组性能参量完全一致的光电传感器以及新增的平凸透镜和具有焦距调节功能的机械连接部分组成. 其中二组共八个性能相同的光敏电阻(1-8)在基准板上的分布如图3(b)中所示, 其中实现“细调”信号采集部分5-8四个光电传感器分别以对称结构与半径为 R_2 的圆周外切分布. 螺纹连接管10上端通过与透镜固定台12以螺纹方式将平凸透镜9水平固定, 下端通过与基准板11一体的调节内螺母连接于基准板11上.

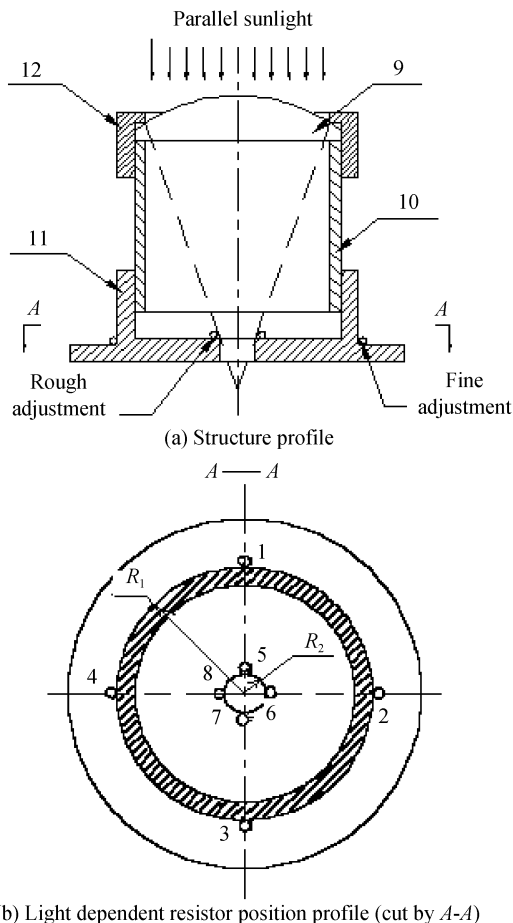


图3 聚光型粗细调互补太阳光信号采集器
Fig. 3 The signal acquisition device of concentrating solar with rough and fine adjustment complementary

2.2 工作原理

该太阳光信号采集器中“粗调”信号采集部分1-4传感器(外组光电传感器)的工作原理这里不再复述. 仅就改进后“细调”信号采集部分5-8传感器(内组光电传感器)的工作原理说明如下:

由于光电传感器接收的是聚光后增强了的太阳光信号而非直接接受太阳光信号, 所以有效地解决了早晚间太阳光比较弱时采集信号分辨率低的技术问题; 而对于中午(特别是夏天)太阳光太强导致光电传感器的光电特性进入饱和区而检测灵敏度降低的问题, 通过光电传感器受光面积中仅有一部分(如1/3)接受汇聚后的太阳光的方法, 能够使得光电传感器的光电性能退出饱和区域而输出正常电信号. 另外, 根据实际使用情况的不同, 还可以方便地通过内螺母11中旋转螺纹连接管10就可以改变 R_2 的大小, 从而实现根据需要调整5-8四个光电传感器受光面积的目的.

2.3 参量计算

为了实现在太阳光“很强”和“很弱”的情况下信号采集系统的可靠工作, 从理论上推导出光电传感器的受光面积. 其计算方法如下:

设平凸透镜焦距为 f , 直径为 d , x 为 h (光斑与透镜距离)处光斑的半径, 则由相似三角形(见图4), 可得

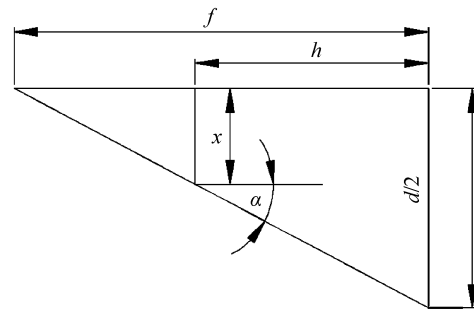
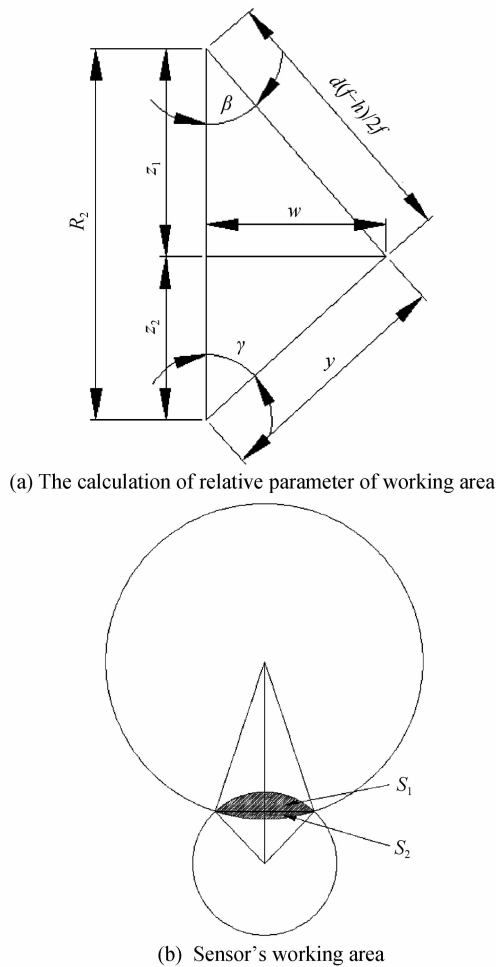


图4 距离聚光镜 h 处光斑半径计算
Fig. 4 The calculation of radius distance condenser h plot's facula

$$\alpha = \arctan \frac{d/2}{f} = \arctan \frac{d}{2f} \text{ 和 } x = \frac{d(f-h)}{2f} \quad (1)$$

根据传感器器件特性和实践经验, 可以通过调节光斑与透镜距离 h 以达到调整传感器受光面积, 防止其因光强“很弱”而无法识别和光强“很强”而使其进入饱和区.

在实际应用中, h 处光斑直径远大于传感器直径以及光斑与传感器之间的相对位置, 可近似 $R_2 \approx z_1 + z_2$. 受光面积等于光斑圆面与传感器圆面叠加的部分面积, 即计算的弓形 S_1 和 S_2 的面积之和(见图5). 推导过程如下:



(a) The calculation of relative parameter of working area

(b) Sensor's working area

图 5 传感器受光面积计算

Fig. 5 The calculation of sensor's working area

$$\begin{cases} \left(\frac{d(f-h)}{2f}\right)^2 - z_1 = y^2 - z_2^2 \\ z_1 + z_2 = R_2 \end{cases} \quad (2)$$

由几何学求出 z_1 、 z_2 、 w 和 β 、 γ 。以用到后面的弓形面积计算。

$$S_1 = \frac{2\beta\pi \left[\frac{d(f-h)}{2f}\right]^2}{360} - 2 \times \frac{1}{2} w z_1 \quad (3)$$

$$S_2 = \frac{2\gamma\pi y^2}{360} - 2 \times \frac{1}{2} w z_2$$

即得到了传感器受光面积为 $S_1 + S_2$ ，再参考光电传感器器件特性并根据实践经验来选择合适的受光面积。实践得出传感器受光面积占总表面的 1/4 至 1/3 时输出信号稳定并达到理想的跟踪效果。再利用上面推导的逆过程就可以计算出校正桶的内腔长度，为设计制作聚光型粗细调互补太阳光信号采集器提供理论依据；而在具体使用中适度微调以达到最佳的效果。

3 试验结果与分析

地球的公转和自转导致太阳光角度随季节和一天当中的时间而变化，所以必须对太阳光进行跟踪。由天文年历可以计算出每天太阳光的角度，只要保证跟踪装置与太阳光角度之间的关系即完成了高精度跟踪。以 12 月上旬冬天的西安作为测试地点，数据如表 1。

表 1 实验误差结果

Table 1 The result of tolerance test

Time	7.55	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	15.50	16.45
Complementary former error	—	0.099°	0.097°	0.095°	0.093°	0.094°	0.095°	0.097°	0.099°	—
Complementary after error	0.099°	0.097°	0.096°	0.094°	0.091°	0.093°	0.095°	0.096°	0.097°	0.099°

通过实地测试，可以看出加入粗调细调后不仅大大地延长了跟踪时间也提高在某些时刻的准确度。

4 结论

测试结果表明，在此基础上通过对“细调”信号采集部分 5-8 四个光电传感器改进成接受汇聚太阳光的方法对于解决太阳光很弱和很强二种特殊条件下延长自动跟踪时间是非常有效的，如在 12 月上旬的西安市，相对于非聚光的太阳光信号采集器，将自动跟踪正常工作时间由原来的 8 点 50 分开始提前到 7.55 分，下午由 3.50 延长到 4.45 分结束；而在 6 月份夏天中午强光照条件下，自动跟踪系统依然能够正常工作。从而实现了在不增加产品成本的前提下有效解决了上述二个技术问题，保证了一年四季全天候为自动跟踪系统提供准确无误的太阳光信

号。采用了聚光型粗细调互补太阳光信号采集器的自动跟踪系统应用于西安中科麦特电子技术设备有限公司的聚光光伏 (Concentrating Photovoltaics, CPV) 型 1 200 W 砷化镓发电系统中，达到很好的效果。

参考文献

- [1] ZHU Rui, LU Zhen-wu, LIU Hua, *et al.* The solar concentrator design method based on nonimaging optics[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(9): 2251-2255.
朱瑞, 卢振武, 刘华, 等. 基于非成像原理设计的太阳能聚光镜[J]. *光子学报*, 2009, **38**(9): 2251-2255.
- [2] ZHANG Yao-ming. Research on sunlight collecting and illumination system[J]. *Engineering Science*, 2002, **4**(9): 63-69.
张耀明. 采集太阳光照明系统研究[J]. *中国工程科学*, 2002, **4**(9): 63-68.
- [3] TRIPANAGNOSTOPULOS Y, SOULIOTIS M. Integrated collector storage solar systems with asymmetric CPC reflectors[J]. *Renewable Energy*, 2004, **29**: 223-248.

- [4] DU Bin, ZHANG Yao-ming, SUN Li-guo. Experimental investigation of a low concentrating photovoltaic system[J]. *Acta Energeticae Solaris Sinica*, 2008, **29**(11): 1328-1332.
杜斌, 张耀明, 孙利国. 低倍聚光光伏系统的实验研究[J]. 太阳能学报, 2008, **29**(11): 1328-1332.
- [5] TOGRUL I T, PEHLIVAN D, AKOSMAN C. Development and testing of a solar air-heater with conical concentrator[J]. *Renewable Energy*, 2004, **29**(2): 263-275.
- [6] NING Duo, LIU Li-ping, LI Li. Design on the autotracking of domestic focusing solar energy system [J]. *Journal of Northwest institute of Light Industry*, 2002, **20**(2): 59-62.
宁铎, 刘莉萍, 李莉. 家用太阳能聚光器自动跟踪系统的设计[J]. 西北轻工业学院学报, 2002, **20**(2): 59-62.
- [7] NING Duo. Developments of parabolic trough for solar energy system[J]. *Acta Energeticae Solaris Sinica*, 2003, **24**(5): 616-619.
宁铎. 折面形抛物柱太阳能聚光器的研制[J]. 太阳能学报, 2003, **24**(5): 616-61.
- [8] LI Xiu-jie, HAN Pei-de, YANG Yi-biao, *et al.* Reflector of solar Cells based on photonic crystal heterostructures[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2010, **39**(10): 1786-1789.
李秀杰, 韩培德, 杨毅彪, 等. 基于光子晶体异质结的高效太阳能电池反射器研究[J]. 光子学报, 2010, **39**(10): 1786-1789.
- [9] MA Ju-xia, NING Duo, HOU Yong-yan, *et al.* Developments in zigzag parabolic like for solar energy system [J]. *Acta Energeticae Solaris Sinica*, 2004, **25**(5): 643-646.
马菊侠, 宁铎, 侯勇严, 等. 再论折面形抛物柱太阳能聚光器的改进[J]. 太阳能学报, 2004, **25**(5): 643-646.
- [10] NING Duo, ZHANG Dong-yu. Sunlight transmitter [J]. *Journal of Shanxi University of Science & Technology*, 2005, **23**(1): 45-47.
宁铎, 张东煜. 阳光输送机的研究[J]. 陕西科技大学学报, 2005, **23**(1): 45-47.
- [11] NING Duo, LIU Fei-hang, WU Yan-rui, *et al.* Non-tracking transmission solar concentrators [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(11): 2284-2287.
宁铎, 刘飞航, 吴彦锐, 等. 免跟踪太阳能聚光器的研制[J]. 光子学报, 2008, **37**(11): 2284-2287.
- [12] NIU Li-hong, LIAO Hua, ZHANG Jin-song, *et al.* Optimization design of compound parabolic concentrator in the weak light detector[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(12): 3079-3083.
牛丽红, 廖华, 张劲松, 等. 弱光探测器中复合抛物面聚光镜[J]. 光子学报, 2009, **38**(12): 3079-3083.
- [13] 陕西科技大学. 透射式太阳能聚光器: 中国, 2008100178422 [P]. 2010-08-07.

Signal Acquisition Device of Concentrating Solar Rough and Fine Adjustment Complementary

NING Duo, WU Tao, HUANG Jian-bing, JIN Yan, ZHANG Yong-jia, ZHANG Jian-li
(The Institute of Sunshine Electronics, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: High precision automatic tracking system is indispensable component of solar concentrator. Whether signal collector gathers the signal from sunlight direction accurately and reliably or not is the key of automatic tracking accuracy. A design scheme about signal acquisition device of rough and fine adjustment complementary was put forward. One set differential-mode signal could be automatically chosen from two sets sensors by the software during normal work. The scheme effectively resolved the contradiction between a large range looking for the sun and high accuracy tracking. A new structure of collection the signal of concentrating solar was improved, which could solve the problem of photoelectric sensor go into saturated zone in the large light intensity and the output differential-mode signal is too small when the light intensity is very weak. According to the principle, a made signal acquisition device of concentrating solar with rough and fine adjustment complementary was applied to the company's CPV type 1200W GaAs power generation systems, and achieved very good tracking result with the actual tracking error $\leq 0.1^\circ$ (solid angle).

Key words: Solar concentrating; Tracking accuracy; Signal collector; Differential-mode signal; Rough and fine adjustment complementary